

5.3 Wie viel TWh (Terrawattstunden) elektrische Energie produziert das Kohlekraftwerk im Dauerbetrieb pro Jahr?

6 Ein Wasserspeicherkraftwerk besitzt ein ca. 80 Meter über den Turbinen liegendes Hochbecken mit einem Fassungsvermögen von 3,8 Millionen m³ Wasser. Die Anlage weist folgende Einzelwirkungsgrade auf:

Rohrleitung: $\eta_1 = 0,90$; Turbine: $\eta_2 = 0,93$; Generator: $\eta_3 = 0,87$

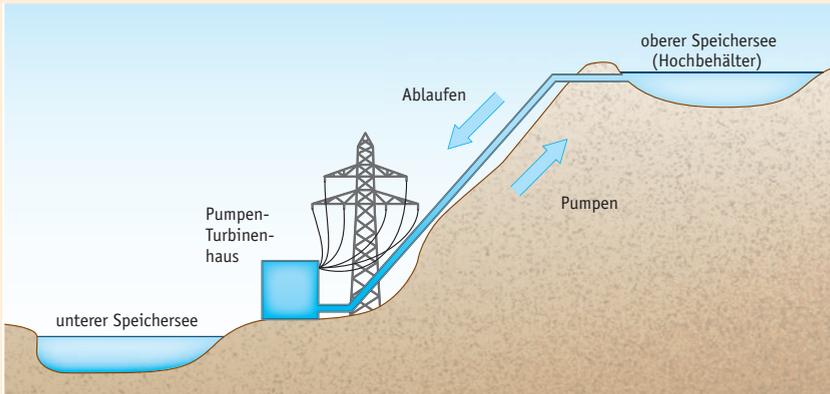


Abb. 1.14

- 6.1 Wie viel potentielle Energie besitzt das Wasser im Hochbecken?
- 6.2 Wie viel elektrische Energie wird daraus gewonnen? Wie viel kostet diese Energie, wenn man für 1 kWh 15 Cents bezahlen müsste?
- 6.3 Wie viele Tonnen Steinkohle lassen sich damit einsparen, wenn ansonsten ein Kohlekraftwerk mit einem Wirkungsgrad von 38 % diese elektrische Energie liefern müsste?
- 6.4 Um welche Temperatur würde sich das gespeicherte Wasser mit der zur Verfügung stehenden potentiellen Energie erwärmen lassen?
- 6.5 Welche elektrische Leistung gibt das Speicherkraftwerk ab, wenn das Hochbecken innerhalb von 6 Stunden leertläuft.
- 7 Wie viel Energie ist 1 kWh und wie viel kostet sie?
Für verschiedene Anwendungen sollen die Werte zunächst geschätzt und anschließend berechnet werden. Sind die Angaben unvollständig – was in der Praxis die Regel ist –, sollen sinnvolle Annahmen gemacht werden.
- 7.1 Was kann man mit 1 kWh erreichen?
- 7.1.1 Wie lange kann eine 15-W-Energiesparlampe und 100-W-Glühlampe damit betrieben werden?
- 7.1.2 Wie lange kann man damit (elektrisch) die Zähne putzen, mobil telefonieren, Fernsehen schauen, Kuchen backen?
- 7.1.3 Wie hoch lässt sich damit 1 t (Tonne) heben?
- 7.1.4 Wie viele Höhenmeter kann damit ein Bergsteiger erklimmen? Wenn er später diesen „Energieverlust“ mit Bier wieder ausgleichen will: Wie viel muss/darf er trinken?

Achten Sie auf eine aussagekräftige Skalierung und beschriften Sie die Achsen. Natürlich können die Diagramme mit Hilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms erstellt werden.

- 11.6 In Finanzratgebern findet man folgende Regel (Faustformel) zur Zinseszinsrechnung: Um herauszufinden, in welchem Zeitraum sich ein Startkapital bei gegebenem Zinssatz verdoppelt, muss man 72 durch diesen Zinssatz dividieren. Demnach betrüge die Verdopplungszeit bei $p = 7\%$ also $72/7 = 10,3$, sprich, es dauert 10,3 Jahre, bis sich das Startkapital bei einem Zinssatz von 7 % verdoppelt. Diese Formel ist mathematisch nicht ganz einfach aus der Zinseszinsformel herzuleiten (möglich ist es aber mit Hilfe einiger Näherungen). Überprüfen Sie diese Regel nun mit der Zinseszinsformel für $p = 3\%$; 5% ; 10% .
- 12 Für die folgenden Aufgaben können die Zahlenwerte aus Tabelle 2.2 entnommen oder eigene recherchierte Werte herangezogen werden.
- 12.1 Was versteht man unter Reichweite eines Energieträgers?
- 12.2 Welche Reichweiten ergeben sich, wenn man zu den sicheren Vorräten noch die geschätzten Ressourcen hinzunimmt (Tabelle 2.2) und konstanten Verbrauch unterstellt?
- 12.3 Zu welchen Reichweiten kommt man, wenn man eine jährliche Verbrauchssteigerung von 5 % annimmt?
- 12.4 Von einem Energieträger werden derzeit 3,0 Gt SKE pro Jahr verbraucht. Der Verbrauch wächst um 5 % pro Jahr. Wie hoch ist der jährliche Verbrauch in zehn bzw. in zwanzig Jahren? Wie viel Prozent Zuwachs sind das gegenüber dem Ausgangsjahr?
- 13 Erzeugen Sie mit Hilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms eine Tabelle, welche die der Abbildung 2.12 zugrundeliegenden Zahlen berechnet. Die Tabelle sollte folgendermaßen aufgebaut sein:

| | A | B | C | D | E |
|---------|----|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---|
| 1 Jahre | | konstanter jährlicher Verbrauch | 3 % jährliche Verbrauchszunahme | 2 % jährliche Verbrauchsabnahme | |
| 2 | 0 | 232,0 | 232,0 | 232,0 | |
| 3 | 1 | 226,5 | 226,5 | 226,5 | |
| 4 | 2 | 221,0 | 220,8 | 221,1 | |
| 5 | 3 | 215,5 | 215,0 | 215,8 | |
| 6 | 4 | 210,0 | 209,0 | 210,7 | |
| 7 | 5 | 204,5 | 202,8 | 205,6 | |
| 8 | 6 | 199,0 | 196,4 | 200,6 | |
| 9 | 7 | 193,5 | 189,9 | 195,7 | |
| 10 | 8 | 188,0 | 183,1 | 191,0 | |
| 11 | 9 | 182,5 | 176,1 | 186,3 | |
| 12 | 10 | 177,0 | 168,9 | 181,7 | |

Abb. 2.12 Verbleibende Vorräte an Erdöl bei unterschiedlichen Verbrauchsentwicklungen (Zahlen aus Tabelle 2.2)

Rechnen Sie die Tabelle mit anderen Annahmen zur jährlichen Verbrauchsänderung durch.

- 14 Um wie viel Prozent steigt der Stromverbrauch bis zum Jahr 2030, wenn mit jährlichen Steigerungsraten von a) 1 %, b) 2 %, c) 5 % gerechnet wird?

Im $p(V)$ -Diagramm sind die Kurven konstanter Temperatur, die Isothermen, Hyperbeläste, wie das Gesetz von Boyle-Mariotte $p \cdot V = \text{konstant}$ zeigt. Je höher die konstante Temperatur gewählt wird, desto weiter nach oben verschiebt sich die zugehörige Isotherme im Diagramm. In der Abbildung 3.22 sind drei Isothermen dargestellt, wobei für die jeweiligen Temperaturen gilt: $T_1 < T_2 < T_3$. Dass die Reihenfolge bei den Temperaturen so sein muss, ist verständlich: Bei einem

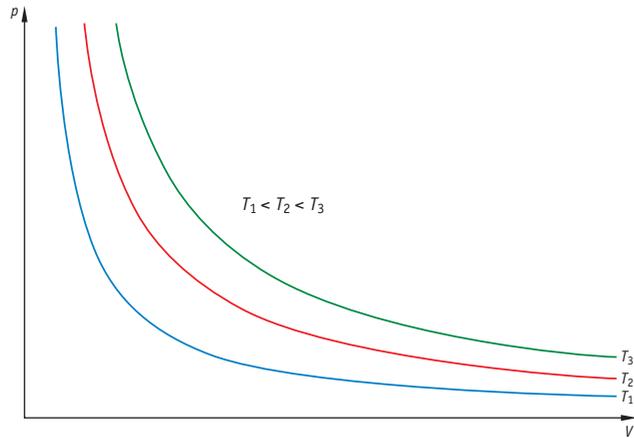


Abb. 3.22 ► Isothermenschar

bestimmten festen Volumen hat das Gas mit höherer Temperatur einen höheren Druck und muss deshalb im Diagramm weiter oben liegen.

Zur Berechnung der bei einem isothermen Prozess umgesetzten Arbeit werden die Erkenntnisse des vorherigen Abschnitts eingesetzt. Letztlich muss der in Abbildung 3.23 farbig gezeichnete Flächeninhalt berechnet werden.²¹

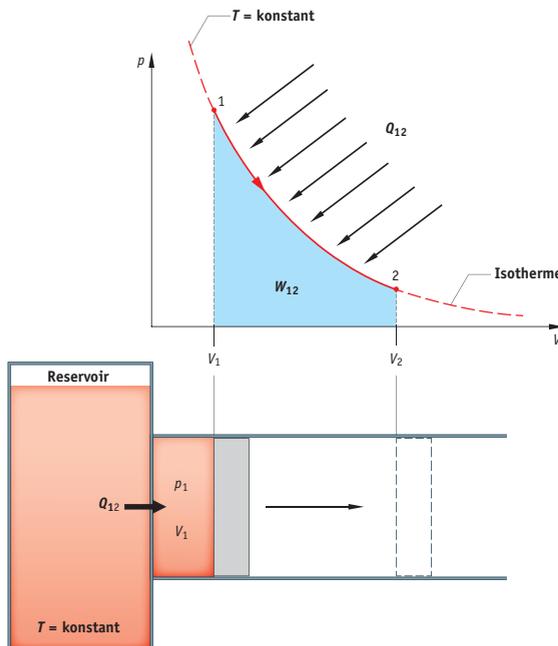


Abb. 3.23 ► Isothermer Prozess

²¹ Wer keine Kenntnisse in Integralrechnung hat, sollte nur auf das Endergebnis achten.

CO₂. Lange Zeit wurde dieses Gas für unbedenklich gehalten, da es nicht toxisch⁶ und für das Wachstum der Pflanzen sogar nötig ist. Inzwischen weiß man aber, dass es – bei entsprechender Konzentration in der Atmosphäre – entscheidend zur Veränderung des Weltklimas beiträgt.

5.3.1 Der natürliche Treibhauseffekt

Die auf die Erde einfallenden Sonnenstrahlen bestehen aus elektromagnetischen Wellen. Die kurzwelligeren Sonnenstrahlen - ihre größte Strahlungsintensität liegt im Bereich des sichtbaren Lichtes - werden von der Atmosphäre weitgehend durchgelassen und erwärmen die Erdoberfläche. Daraufhin werden von der Erde längerwellige Wärmestrahlen – ihre Wellenlänge liegt im unsichtbaren **Infrarotbereich** – abgegeben. Die elektromagnetischen Wellen des Infrarotbereiches können aber die Atmosphäre nicht wieder ungehindert verlassen; vielmehr werden sie von **Spurengasen**, zu denen auch das CO₂ gehört, absorbiert⁷. Zwar strahlen die Spurengase die absorbierte Energie wieder ab, jedoch erfolgt das ungerichtet und somit teilweise wieder zur Erde zurück.

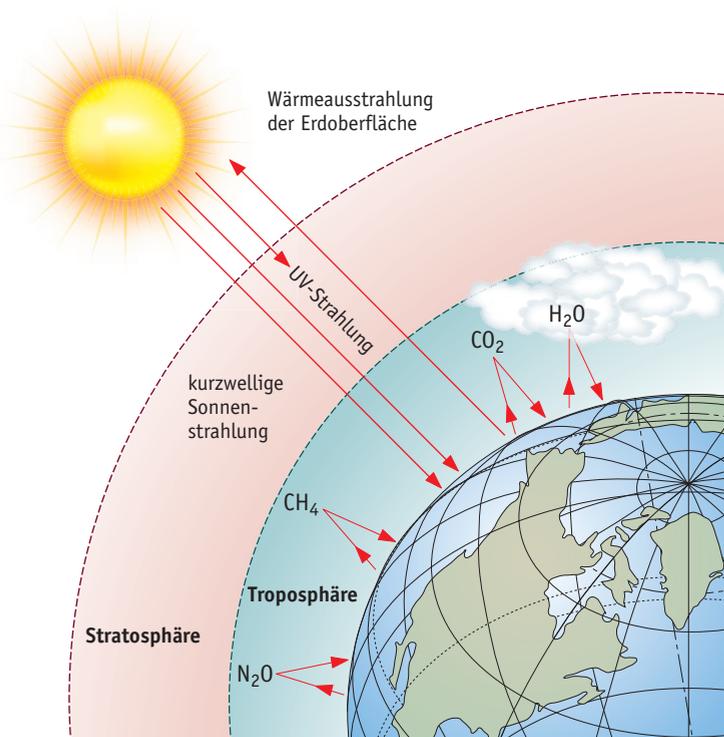


Abb. 5.9 ► Schematische Darstellung des Treibhauseffektes

Die Spurengase haben also die gleiche Wirkung wie die Glasscheiben eines Treibhauses: Einerseits lassen sie das von außen einfallende kurzwellige Sonnenlicht durch, andererseits unterbinden sie das Abstrahlen der langwelligeren Wärmestrahlung aus dem Inneren des Treibhauses.

6 toxisch = giftig

7 Aus der Physik oder Chemie weiß man, dass Gas-Atome oder -Moleküle elektromagnetische Wellen bestimmter Wellenlängen absorbieren. CO₂ hat die Eigenschaft, im Infrarotbereich des elektromagnetischen Spektrums liegende Wellen zu absorbieren. Der Physiker spricht in diesem Zusammenhang davon, dass die Spurengase, so auch CO₂, *Absorptionsbanden* im Infrarotbereich des Spektrums haben.

6 Erneuerbare Energien

Dass die Menschheit ihr Energieversorgungssystem einseitig auf die fossilen Energieträger ausgerichtet hat, wurde bereits mehrfach betont. Deutschland hat zwar einen **Energiemix**¹, allerdings nach wie vor hauptsächlich bestehend aus den drei fossilen Energiequellen Kohle, Öl und Erdgas. Andere Energieträger haben bislang nur untergeordnete Bedeutung. Daraus ergeben sich zwei zentrale Probleme im Hinblick auf eine zukunftsträchtige, umweltgerechte Energieversorgung: Die fossilen Energieträger sind in absehbarer Zeit erschöpft, und was derzeit noch drängender ist, sie schädigen die Umwelt dermaßen, dass die natürlichen Lebensgrundlagen der Menschheit in Gefahr sind (vgl. Kapitel 5). Wenn die Erde ein bewohnbarer Ort für Menschen bleiben soll, *muss* also eine **Energiewende** her.

Die aber ist nur durch drastisch verstärkte Nutzung **erneuerbarer Energien** herbeizuführen.

Als erneuerbare oder regenerative Energiequellen bezeichnet man Energiequellen, die sich auf natürliche Weise selbständig und unabhängig von ihrer Nutzung erneuern.²



Abb. 6.1 ► Montage einer Windkraftanlage im Windpark *Alpha Ventus*

- 1 Unter *Energiemix* versteht man die Verteilung der Energieversorgung auf verschiedene Energiequellen.
- 2 Die erneuerbaren Energien (EE) werden zunehmend als „grüne Energien“ oder – noch poetischer – als „Energien des Himmels“ bezeichnet. Entsprechend sind die fossilen Energien die „Energien der Hölle“.

6.2.3 Wüstenstrom aus der Sahara für Europa

Neben unzähligen kleinen Einzelprojekten ist nun auch ein echtes Großprojekt namens „Desertec“ in Planung. Ein Betreiberkonsortium namhafter Konzerne will erneuerbare Energieträger für Europa und darüber hinaus nutzbar machen. In diesem gigantischen Projekt, das sich über ganz Europa, Nordafrika (Sahararegion) und den Nahen Osten erstreckt, sollen die regenerativen Energien dort angezapft werden, wo das entsprechende Angebot herrscht. So werden Solarkraftwerke im Sonnengürtel der Sahara und des Nahen Ostens errichtet, Windkraftparks an und vor den Küsten usw. Die so gewonnene Energie wird dann in einem riesigen Netz dorthin transportiert, wo die entsprechende Nachfrage besteht, aber vor allem nach Europa.

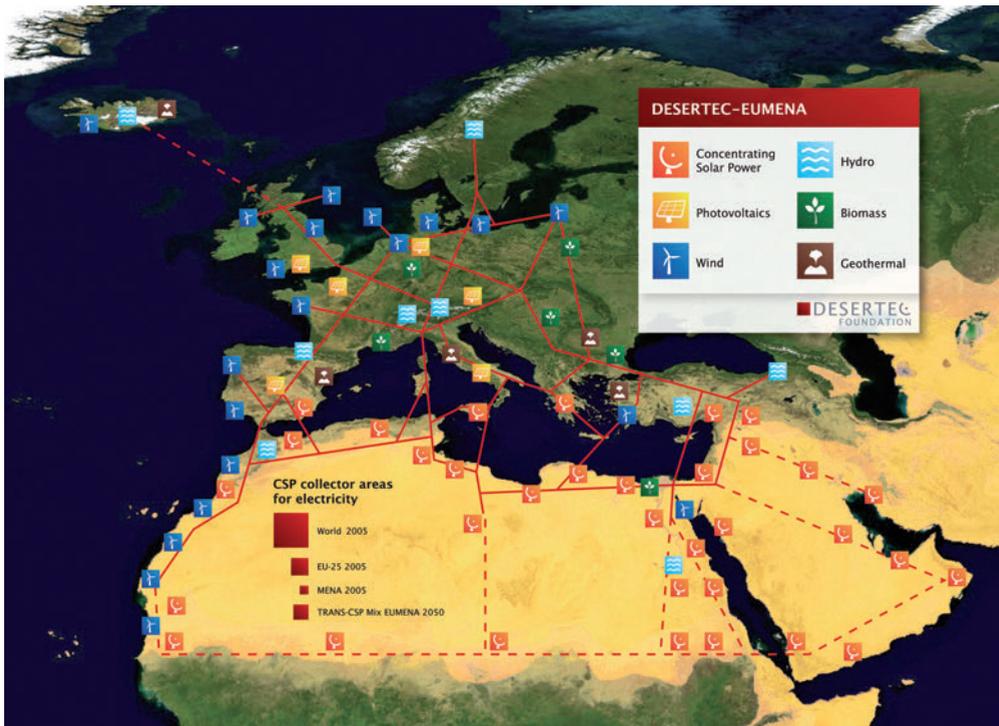


Abb. 6.16 ► Das Kontinente umfassende Desertec-Konzept

Ziel ist eine langfristige CO₂-freie Energieerzeugung im großtechnischen Maßstab mit einer Vielzahl von hauptsächlich solaren Kraftwerken und einem Stromnetz mit extremen Ausmaßen. Nicht nur die technischen Herausforderungen sind hoch, sondern auch die politischen und finanziellen Dimensionen.

6.2.4 Solar-Wasserstoff-Technik

Die regenerativen Energiequellen bieten ein zeitlich stark schwankendes (= **intermittierendes**) Energieangebot, das in der Regel nicht zeitgleich mit der Energienachfrage auftritt. Bei der Nutzung regenerativer Energiequellen besteht also das Problem der **Energiespeicherung**. Bei den herkömmlichen Energiequellen spielt dieser Aspekt keine so zentrale Rolle. Kohle beispielsweise wird einfach auf Halde geschüttet. Zudem liegen die Angebots- und Nachfragestandorte regenerativer Energiequellen oft weit auseinander (Sonnenenergieangebot in der Sahara – Nachfrage nach Solarstrom in Deutschland), weshalb sich auch die Frage nach dem Energietransport stellt.